

3.4 Diskrete Transformationen (multiplikative QZ)

P: Raumspiegelung	$x \rightarrow -x$
T: Zeitumkehr	$t \rightarrow -t$
C: Ladungskonjugation	$q \rightarrow -q$

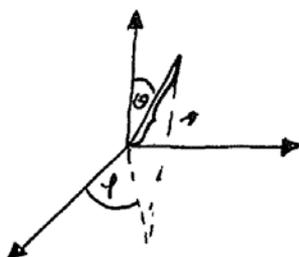
a) Raumspiegelung

$$P^2 \Psi = \eta_P^2 \Psi \quad \text{Eigenwert } \eta_P \text{ kann nur } \pm 1 \text{ sein}$$

Beispiel elm Übergänge:

Rotationssymmetrisches Potential, Lösungen der Form $\Psi(r, \rho, \theta) = R(r)Y^{lm}(\theta, \varphi)$

$$\begin{aligned} P: r &\rightarrow r \\ \theta &\rightarrow \theta + \pi \\ \varphi &\rightarrow \varphi + \pi \end{aligned}$$



$$P Y^{lm}(\theta, \varphi) = Y^{lm}(\theta + \pi, \varphi + \pi) = (-1)^l Y^{lm}$$

Elektrischer Dipolübergang ist mit Emission eines Photons γ verbunden. Aus Auswahlregeln $\Delta l = \pm 1$ folgt:

$$A^* \rightarrow A + \gamma$$

$$\eta_P(A^*) \rightarrow \eta_P(A) \eta_P(\gamma) = -1 \eta_P(A)$$

$$\Rightarrow \eta_P(\gamma) = -1$$

Beispiel Zerfall eines Teilchens x:

$$x \rightarrow a + b$$

$$\eta_P(x) = \eta_P(a) \eta_P(b) (-1)^l$$

l : relativer Drehimpuls zwischen a, b
 $l = 0$ Grundzustand
 $l = 1, \dots$ angeregter Zustand

b) Ladungskonjugation C

$$C | \text{Teilchen} \rangle \rightarrow \eta_C | \text{Antiteilchen} \rangle$$



bel. Phase wenn Teilchen kein C Eigenzustand ist

wenn Teilchen = Antiteilchen, dann $\eta_C = \pm 1$

$$\begin{aligned} \text{z. B. } C |\gamma\rangle &= (-1) |\gamma\rangle \\ C |\pi^0\rangle &= +1 |\pi^0\rangle \end{aligned}$$

Photon ist Quant des elm Feldes, das sich unter Ladungsumkehr umdreht.

$$\begin{aligned} \pi^0 &\rightarrow \gamma\gamma \\ +1 & \quad (-1) \quad (-1) \end{aligned}$$

[$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma\gamma$ ist verboten, da EM WW C-Parität erhält]

c) Zeitumkehr:

$$\vec{p} \rightarrow -\vec{p}$$

$$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} \rightarrow -\vec{l}$$

3.5 Paritätsverletzung

1956 galt P, C, T Erhaltung als Dogma, bevor Yang und Lee feststellten, dass die Erhaltungsgrößen nicht getestet wurden und zahlreiche Test zur P-Erhaltung vorschlugen.

θ/τ Puzzle: zwei Teilchen, selbe Masse, selbe Lebensdauer, selbe Ladung, aber unterschiedliche Parität

$$\begin{aligned} \theta &\rightarrow \pi^+ \pi^0 \\ \tau &\rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(q) &= +1 \quad P(\bar{q}) = -1 \\ \Rightarrow P(q\bar{q}) &= (+1) (-1) \cdot (-1)^l \\ &= 1 = 0 \text{ im Grundzustand} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\theta) &= (-1) (-1) \cdot (-1)^0 = +1 \\ P(\tau) &= (-1) (-1) (-1) \cdot (-1)^0 = -1 \end{aligned}$$

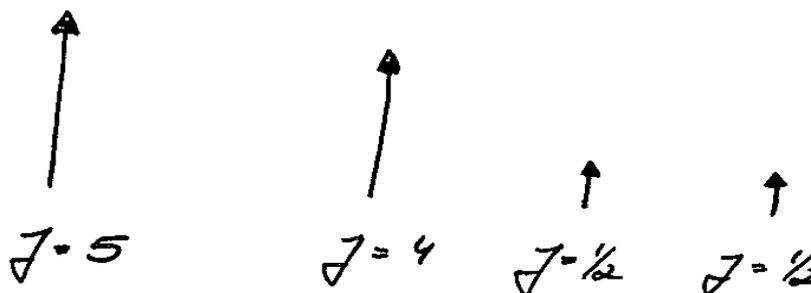
$$\Rightarrow P(\pi^+) = P(\pi^-) = P(\pi^0) = -1$$

Yang + Lee: $\theta = \tau = K^+$

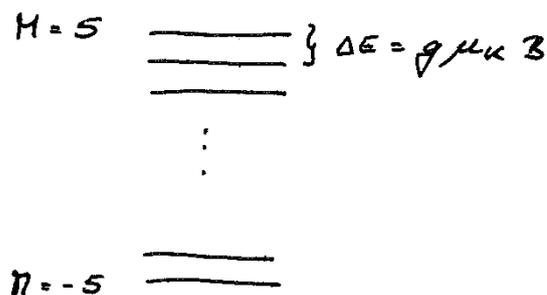
schwache WW verletzt Parität

Wu-Experiment:

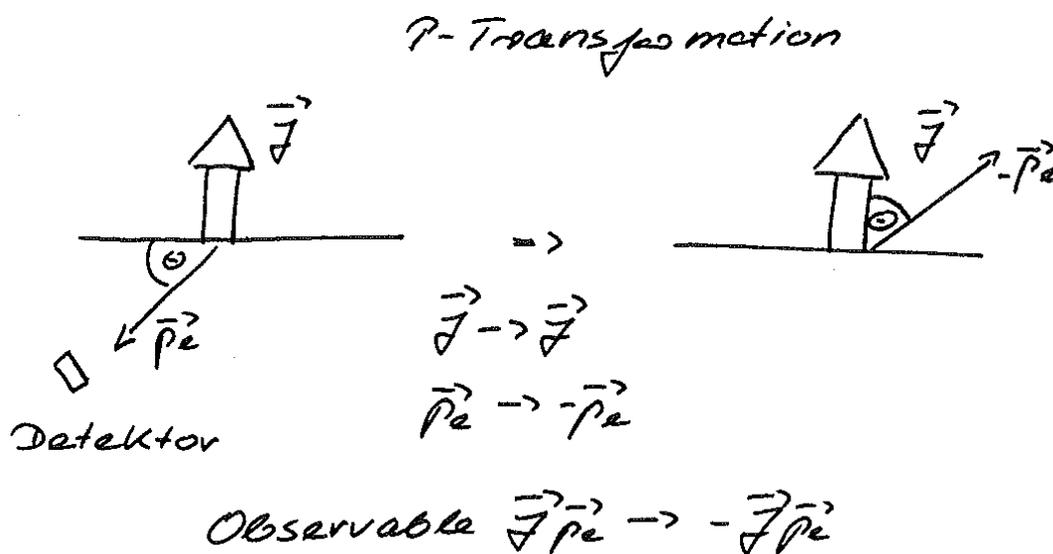
β -Zerfall



Spin des ^{60}Co : $J = 5 \Rightarrow M = -5, -4, \dots, 4, 5$



Idee : Polarisation der ^{60}Co , $M = -5$ Zustand bei tiefen Temperaturen ($T \approx 10\text{mK}$) vorwiegend besetzt.

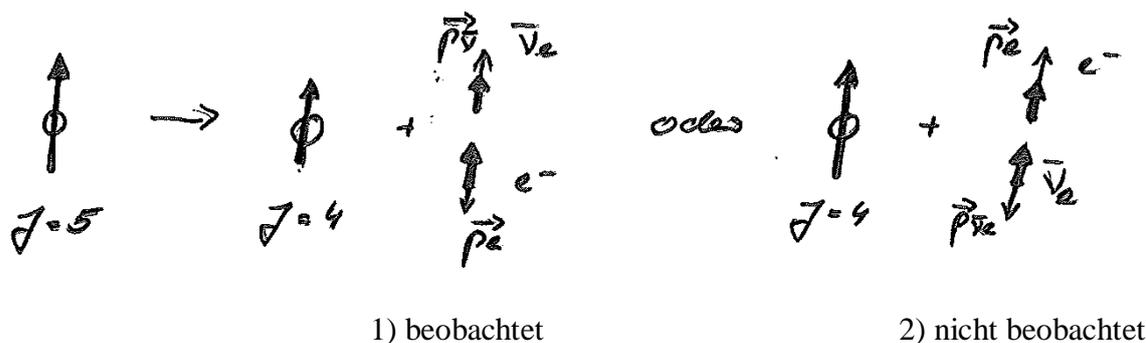


Falls Parität erhalten ist, muss Rate der gestreuten Elektronen in Richtung des Drehimpulses \vec{J} gleich der Rate in entgegengesetzte Richtung sein.

[statt Detektor zu verschieben wurde Polarisation des B-Feldes gedreht.]

Ergebnis siehe Folien => Paritätsverletzung

Erklärung



Helizität $h = \frac{\vec{p} \cdot \vec{s}}{|\vec{p}| |\vec{s}|}$ $h = -1$ Linkshändig (LH)
 $h = +1$ Rechthändig (RH)

- 1) LH e^- und RH $\bar{\nu}_e$
- 2) LH $\bar{\nu}_e$ und RH e^-

In weiteren Experimenten konnte ebenfalls bestätigt werden, dass nur LH e^- (oder RH e^+) in schwachen Zerfällen entstehen.

Goldhaber zeigte 1957, dass Neutrinos immer LH und Antineutrinos immer RH sind.

NB: Helizität ist eine Meßgröße, Meßvorschrift $h = \frac{\vec{p} \cdot \vec{s}}{|\vec{p}| |\vec{s}|}$. Die Helizität eines Teilchens hängt vom Bezugssystem ab. Wenn das Teilchen $m \neq 0$ hat und damit $v \neq c$, gibt es immer ein „schnelleres“ Bezugssystem, indem die Helizität das Vorzeichen wechselt.

Es gibt eine QZ (Chiralität), die die Werte linkshändig und rechtshändig annehmen kann. Für masselose Teilchen ist

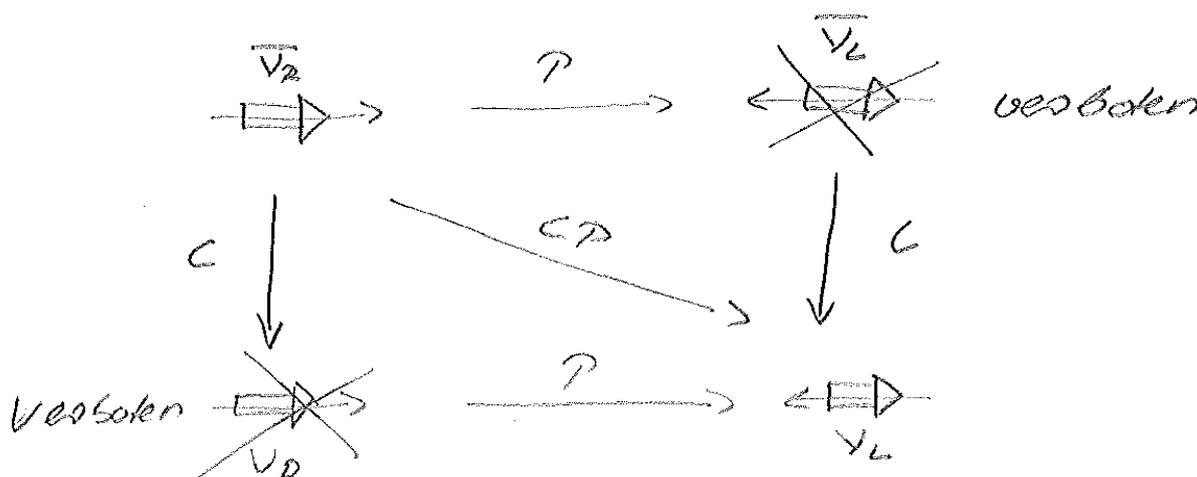
linkshändige Helizität = linkshändige Chiralität
 rechtshändige Helizität = rechtshändige Chiralität

Die W^\pm Bosonen koppeln nur an LH Fermionen und an RH Antifermionen im Sinne von LH und RH Chiralität.

Umso leichter die Teilchen, umso mehr gilt die Gleichheit von Helizität und Chiralität.

3.6 CP-Verletzung

Lange Zeit ging man davon aus, dass die schwache WW C und P, aber nicht CP verletzt.



Cronin & Fitch zeigte 1964, dass CP in K^0 Zerfall verletzt ist. (Dieses Jahr 50 Jahre CP-Verletzung)

3.7 CPT

Lorenzinvarianz & CPT Invarianz ist eine fundamentale Eigenschaft lokaler Feldtheorien.

3.8 Zusammenfassung

Größe	EM WW	starke WW	schwache WW
Isospin I	–	x	–
Baryonzahl \tilde{B}	x	x	x
Leptonzahl $L_{e/\mu/\tau}^*$	x	x	x
C	x	x	–
P	x	x	–
T	x	x	–
CP	x	x	–
CPT	x	x	x
Ladung Q	x	x	x
Flavourquantenzahlen U, D, C, S, B, T	x	x	–

* Ausnahme Neutrinooszillation

x = ist erhalten

– = ist nicht erhalten